

国際沿岸技術研究所及び確認審査所の活動について（平成 23 年度）

山本修司* 八鍬 隆**

*（一財）沿岸技術研究センター 業務執行理事 確認審査所確認員

**（一財）沿岸技術研究センター 国際沿岸技術研究所長

本稿では、平成 23 年度に国際沿岸技術研究所が実施した、東日本大地震関連調査、共同研究、ISO/CEN に関する情報収集ならびに確認審査所で行った確認業務についてその概要を報告する。

キーワード：Great Earthquake, seepage, ISO/CEN, 非鉄スラグ, conformity assessment

1. はじめに

2011 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震 (Mw9.0, 震源域 200×500km) では、震度 7 が栗原市で記録されるとともに、釜石沖の GPS 波浪計では、6.7m の津波高が観測された。この津波は貞観津波 (869 年) クラスかそれ以上と考えられている。この津波により、釜石港、大船渡港、女川港の津波防波堤が大きく被災した。また、岸壁や海岸保全施設も地震動や地盤の液状化で被災するとともに地殻変動で地盤そのものが沈下した。東日本大震災の復旧・復興の議論の中で、“想定外”への対応、防災と減災、最大級の津波、粘り強さなどの考え方が整理されつつあり、発生が懸念される関東・東南海・南海地震への対応に生かされるであろう。

一方、福島第一原子力発電所の事故を契機に、発電所の津波対策が強化されており、防潮堤や防波堤の強化に関する確認審査案件が出てきている。

2. 東日本大震災関連業務

東北地方整備局から受託した「東北地方太平洋沖地震における復旧方針検討業務」において、被災原因の分析、港湾施設の復旧方針の策定及び被災原因究明のための実験計画の策定等を実施した。東北港湾における津波・震災対応技術検討委員会（委員長：高山京都大学名誉教授）では、施設の被災メカニズム、レベル 2 津波に対処する防波堤の“粘り強さ”、津波波力式の適用などが議論された。その中から今後さらに検討すべき技術課題について紹介する。

2.1 粘り強さについて

構造物は、設計で想定している以上の外力を受けた場合においても、多少の変形はあるものの直ちに崩壊することなく、一定の機能を保持することが望まれる。上記検討業務において、粘り強い防波堤の一例として、防波堤背後に腹付石を設置する方式を提案した。防波堤本体の水平変位の増大に伴って、腹付石からの反力は静止土圧から受働土圧へと抵抗力を増すことが期待される。

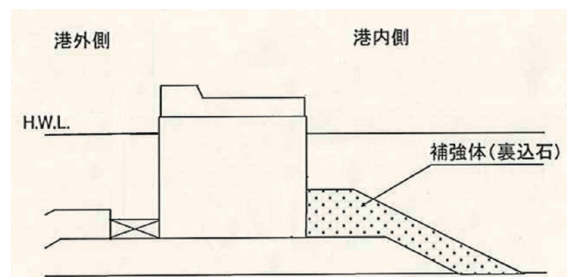


図-1 腹付石による粘り強さ

この腹付石による受働抵抗力と変位量の関係を個別要素法 (DEM) で試算した結果を図-2 に示す。土圧は変位の増大に伴って、静止土圧から徐々に上昇して、ケーソンが 10cm 程度変位したときに受働土圧近くになっている。さらに変位が大きくなっても 40cm 程度の変位までは、受働土圧の 70~80%を保持している。DEM を設計に用いるには、バネ係数や転がり摩擦係数等の物性値を適切に設定する必要があるが、有用な設計ツールと考えられる。

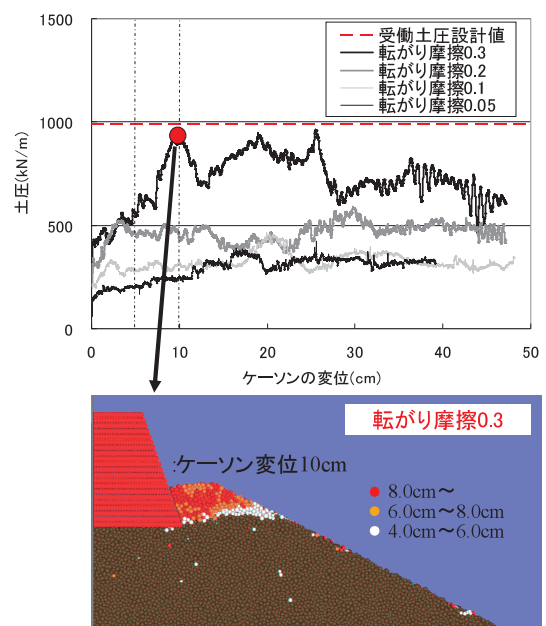


図-2 DEM による腹付石の受働土圧の試算

ところで、粘り強い構造とはどのようなものかという質問をよく受ける。明確な定義は難しいが筆者は以下のようなものをイメージしている。

- ①作用の大きさに比例して、抵抗力が増えていくような構造。典型的なものが受働土圧（昔のCloughとDuncanの実験やTerzaghiの実験でも、変位が相当大きくなって極限土圧となることが実証されている）。前述の腹付石の例では、受働土圧（極限）に適切な安全率を考慮して設計上の滑動抵抗力とすれば、想定以上の外力が作用した場合においても、堤体の変形はあるが抵抗力は保持していることになる。防波堤や岸壁の設計において、力の釣り合いだけで設計すると変形量が算定できないので、Push-Over 的な解析を行って、粘り強さを評価する必要がある。
- ②構造物の“不静定化”。栈橋は鋼管杭の杭頭に塑性イベントが少々できてはなかなかな崩壊しない。捨石マウンド上の重力式防波堤を鋼管杭やグラウンドアンカー等で補強すると、設計上も実際も不静定構造となる。また、北海油田等の重力式構造物の基礎として使われているサクシオン構造は、基礎と地盤の相互作用による靱性が期待できる。
- ③①に類似しているが、材料の塑性変形を考慮した構造設計。道路橋の橋脚の耐震設計における地震時保有水平耐力及び許容塑性率を用いた設計もある意味、構造の粘り強さを期待した設計と考える。
- ④構造体の一部が損傷あるいは崩壊しても最低限の機能を保持する構造。例えば、三面張の海岸堤防の中心部に矢板壁を埋設しておく、越流等により法面が少々洗掘されても、天端高は確保される。また、ジオシンセティクスを用いた盛土の補強も粘りつよさを期待できそうである。

2.2 浸透流を考慮した捨石マウンドの安定

釜石湾港防波堤に今度の津波が来襲した際に撮影されたビデオをみると、防波堤港内側の水面に泡のようなものが大量に噴出していた。8m近い内外水位差がついたために、捨石マウンド内に大きな浸透流が発生したことが考えられる。この浸透流が捨石の有効重量を減少させて捨石マウンドの支持力を減少させた可能性がある。斜面の安定性の検討において、土塊重量と浸透力を合成する方法には、

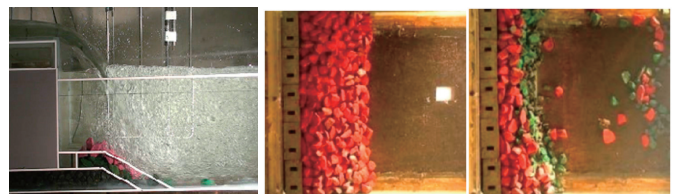
- ① 堤体の水中重量と浸透力のベクトル和
 - ② 堤体の全重量と全間隙水圧のベクトル和
- とする2通りの方法があるが、②の方が便利である。具体的には、簡易 Bishop 法で支持力を検討する場合には、分割片の重量 W に飽和単位体積重量 γ_{sat} を用い、円弧すべり面の全間隙水圧 U をフローネット（定常浸透流と考えた場合）から求めればよい。市販の円弧すべりの計算プログラムでも計算可能であるが、①と②の違いや W の扱い方が適切であるかどうか留意する必要がある。な

お、捨石マウンド内の流速は相当に早く、乱流となるのでダルシー則が成立しないと考えられる。この場合の浸透力の考え方についての実務的な処理方法の確立が望まれる。

さらに、捨石マウンド上面や斜面の石は、浸透力によって有効重量が減少し、石同士の接触応力も減少するので安定性が低下している可能性がある。これは、古くから内陸水路を航行する船舶が引き起こす急速な水位低下による石積傾斜護岸の張石の局所的な安定検討¹⁾と同じものである。また、防波堤を越流した海水の流れが被覆石の安定に与える影響も検討しなければならない。

2.3 越流水による被覆石等の安定性

防波堤を越流した津波の水塊によって、防波堤背後の被覆石等が散乱し、そのことが堤体本体の安定性の低下をもたらした可能性があることが指摘されている。この問題については、港空研や東北地整が実施した実験結果が役立つであろう。



断面（越流時） 平面（実験前） 平面（実験後）
図-3 越流した水塊に対する被覆石の水理実験
（東北地方整備局資料）

3. 共同研究及び技術マニュアル

3.1 非鉄スラグ利用技術マニュアルについて

銅、亜鉛、フェロニッケルを精錬する際に発生するスラグは、性質のばらつきが小さく、硬くて重い等の特徴がある。これを港湾構造物のコンクリート工、地盤材料及び舗装工として利用する際の技術マニュアルを日本鉱業協会との共同研究で作成した。23年度には、非鉄スラグの港湾・空港工事用材料活用技術研究委員会（委員長：菊池喜昭東京理科大学教授）を設置して内容を審議し、暫定版を作成した。

3.2 外国文献の翻訳

港湾構造物の計画・調査・設計・維持管理に役立つような以下の外国文献を業務資料として翻訳した。

- ①PIANC, 2009: Innovations in navigation lock design, Report of PIANC Working Group 106.

揚程 113m を有する中国の Three Gorges（三門峽）閘門など最近の閘門建設プロジェクトを紹介するとともに、閘門の設計原則、建設方法及びライフサイクル管理について詳述している。

②PIANC, 2008: Life cycle management of port structures recommended practice for implementation, Report of PIANC Working Group 17.

港湾構造物の LCM についての一般原則を解説。コンテナターミナルにおける LCM の適用例やロッテルダム港に現存する埠頭の更新決定に関する事例が興味深い。

③PIANC, 2004: Inspection, maintenance and repair of maritime structures exposed to material degradation caused by salt water environment, Report of PIANC Working Group 17.

1990年に発刊された同名の報告書をリニューアルしたもので、建設材料ごとに、劣化と損傷の原理、点検方法、修繕と防護手順を記述している。日本では馴染みの薄い木材及び石材に関する項目もある。

④PIANC, 2009: Long term management of confined disposal facilities for dredged material, Report of PIANC Working Group 109.

閉鎖性処理施設 (CDF) に埋立処分された浚渫土砂の有効活用や処分場の延命方法及び活用方法に関するガイドライン。五大湖やベルギーなどにおける事例が興味深い。

4. 国際規格の動向について

土木学会 ISO 対応特別委員会は国土技術政策総合研究所からの委託業務において、ISO 国内審議団体を通じて ISO 規格の動向及び対応状況を調査している²⁾。港湾に関係がありそうな規格の動向について紹介する。

4.1 設計一般

ISO/TC59/SC17 (Sustainability in building and civil engineering works) では、建築物及び土木工作物のサステナビリティに関する規格を策定・審議中である。ISO/DIS21929-2 Sustainability Indicators-Part2-Framework for the development of Indicators for civil engineering works は、土木工作物の設計、施工、供用、維持及び廃棄の各段階におけるサステナビリティを評価するインディケータの使用と開発に関する規格を策定している。コアインディケータは、エネルギーの使用、水の使用、土地の使用、健康と快適性など 17 項目が示されている。また、ISO/XXX では、Frameworks for methods of assessment of the sustainable performance of construction works-Part2-Civil Engineering works も予定されているようである。港湾の施設の建設、改良、維持に役立つ内容を与えてくれるであろう。なお、国土技術政策総合研究所環境研究部と土木学会が社会資本の LCA 実践方策に関する研究レポート³⁾をまとめている。上記規格案と併せて読むとサステナビリティの理解に役立つであろう。

ISO/TC98/SC2 では ISO2394 General principles on reliability for structures の改訂が、2014年5月の発

行を目途に進められている。改定には、サステナビリティ、リスク評価、ロバストネス、LQI (Life Quality Index) に関する事項が組み込まれることになっている。

TC98/SC3/WG10 では、ISO23469 Seismic Actions for Designing Geotechnical Works に基づくテクニカルレポート TR12930 Seismic design examples based on ISO23469 が平成 24 年に策定された。

TC96/SC10 Seismic Design WG では、Seismic Design Guideline for Crane Structure の作成が進められている。日本クレーン協会のクレーン耐震設計指針をもとに議論が進められており、近々 CD ができるといえる。

4.2 地盤関係

TC182/190/221 の国内審議団体である地盤工学会は、TC182 の地盤調査と試験法に関する 8 規格、TC190 の地盤環境に関する 45 規格、及び TC182 ジオシンセティクスに関する 3 規格に関与している。

TC182/SC1 (Laboratory tests on soils) では、室内土質試験法に関する規格を策定・審議している。粘土粒子とシルト粒子の境界 (ISO ; 0.002mm, 日本・米国 ; 0.005mm) やシルト粒子と砂粒子の境界 (ISO ; 0.063mm, 日本・米国 ; 0.075mm) が具体的試験法の規定の中で議論になっているようである。

TC190 (Soil quality) は、土の汚染問題に関して、環境測定データの質の維持・向上の重要性、国際規格の必要性が認識され、現在 6 つの SC が活動している。地盤環境に関する基本的な各種測定技術の規格化はほぼ終了している。今後は、気候変動、浄化/リスク特性化、土壌マネジメント、ナノ粒子などコンサルティング的な内容にシフトしていく傾向にあり、国際的なビジネスに影響がでてくるかもしれない。

TC221 (Geosynthetics) は、ジオテキスタイル、ジオメンブレン及びジオシンセティック関連製品を含むジオシンセティック製品の規格を担当している。現在 5 つの WG が活動している。

WG1 Liaison with CEN/TC 189 幹事国: カナダ

WG2 Terminology, identification and sampling 幹事国: アメリカ

WG3 Mechanical properties (力学的特性) 幹事国: イタリア

WG4 Hydraulic properties (水力学特性) 幹事国: イギリス

WG5 Durability (耐久性) 幹事国: アメリカ

ジオシンセティクスの年間貿易量は 130 億 m² を越えており、国際規格の内容によっては、市場に大きな影響を及ぼすものと考えられる。

4.3 コンクリート関係

TC71 の国内審議団体である日本コンクリート工学会は現在、コンクリート、鉄筋コンクリート及びプレストレ

ストコンクリートに関する21規格を審議している。現在、以下の7つのSCが活動中である。

- SC1 Test Method for Concrete 幹事国：イスラエル
 - SC3 Production of Concrete and Execution of Concrete Structures 幹事国：ノルウェー
 - SC4 Performance Requirements for Structural Concrete 幹事国：米国
 - SC5 Simplified Design Standard for Concrete Structures 幹事国：コロンビア
 - SC6 Non-Traditional Reinforcing Materials for Concrete Structures 幹事国：日本
 - SC7 Maintenance and Repair of Concrete structures 幹事国：韓国，日本
 - SC8 Environmental Management for Concrete and Concrete Structures 幹事国：日本
- SC2 は現在休止中である。

SC6 では、日本からの提案による設計ガイドライン ISO/DIS14484 Performance guidelines for design of concrete structures using fiber-reinforced polymer (FRP) materials が承認され FDIS 投票準備が行われている。また、日本から FRP 材料の品質規格に関して、Fiber-reinforced polymer (FRP) reinforcement for concrete structures— specifications of FRP sheets— が紹介された。

SC7 では、CD 案として作成された Seismic assessment and retrofit of concrete structures が投票継続中である。

4.4 PIANC WG49/航路基準の動向

PIANC WG49 Horizontal and Vertical Dimensions of Fairways が策定中の航路の計画・設計に関するガイドラインは近々完成予定である。

日本は、ガイドラインの主要部分である Fairway Layout and Channel Width, Design of Channel Depth and Air Draft, Design Ship を担当し、航路幅員及び航路水深を船舶の運動性能を考慮して決定する方法を提案した。

5. 確認審査業務

沿岸技術研究センターは、平成19年8月24日に港湾法に基づく登録確認機関として国土交通大臣より登録され、平成22年8月24日更新された。平成19年10月1日に設置した確認審査所が「港湾の施設の技術上の基準との適合性を確認する業務」を開始した。平成23年度は、22件（防波堤7件，防潮堤1件，係留施設10件，荷役機械4件）の申請案件を取り扱った。申請者の内訳は、港湾管理者12件，民間企業10件であった。最近の申請案件の特徴として、LNG輸送船の大型化に伴う係留施設の増設や大型化、耐震強化岸壁に設置される軌道走行式荷役機械、発電所の津波対策としての外郭施設が増えている。

確認員が行った確認審査結果を審議する「適合判定会議」で話題になった事項を以下に紹介する。

- ①防波堤上部工の安定性の検討における揚圧力の扱い。
コンクリート打設面に少しでも隙間があり、そこが水で満たされている場合には前面波圧と同じ大きさの揚圧力が作用するはずであるが、実際はどうであろうか。
- ②防波堤の根固方塊の所要厚さ (t)。港湾基準・同解説には、木村の提案式と標準的な方塊の諸元が紹介されているが、設計波高 $H_{1/3}$ が10m程度を越えると t が2.2m以上となり標準的な寸法の方塊が使用できない。また、質量も100トンをはるかに越えることとなる。方塊の標準的な寸法の拡大と小さな形状で機能を発揮するブロックの開発が望まれる。
- ③東北地方太平洋沖地震により電子基準点が沈下している。そのため、地震の前後で水深や地盤高の測量結果が異なるので注意を要する。
- ④傾斜堤や消波ブロック被覆堤に使用される消波ブロックの津波に対する安定性を照査する方法がない。特に津波が越流する場合には、ブロックの安定性が相当に落ちると考えられるので模型実験等で検討することが望まれる。
- ⑤ケーソンの上に直立消波ブロックを積んだ形式の防波堤では、直立消波ブロック堤の波力式や部分係数が適用できるか不明である。
- ⑥石材等を輸移出入する栈橋には、船舶が空船で接岸するので、接岸力の算定には空船時排水量が必要となる。しかし、このデータを入手することは一般的に困難であるので、満載排水量との換算係数があると助かる。
- ⑦耐震強化岸壁に設置されるコンテナクレーンには免震装置が設けられることが多い。一般的に水平震度0.2以上の地震動に対して装置が作動するように設計されるが、装置が確実に作動するために、材料の品質確保と確実な点検が必須である。
- ⑧コンテナクレーンの大型化に伴い、輪荷重が90t/輪程度になる場合がある。従来と同じ型式のレールやレール基礎梁の諸元でよいか検討する必要がある。

参考文献

- 1) Bernhard Söhngen, Jan Kayser : Design of bank and bottom protection, ON COURESE 140, PIANC, 2010.
- 2) 国土技術政策総合研究所：技術基準国際化対応調査業務報告書，平成24年3月。
- 3) 国土交通省国土技術政策総合研究所，公益社団法人土木学会：社会資本のライフサイクルを通じた環境評価技術の開発に関する報告，平成24年2月。